

## ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

ГВУЗ “Украинский государственный химико-технологический университет”, г. Днепропетровск

Проанализированы имеющиеся подходы к оценке качества управления, выявлены их недостатки. Описан новый подход к оценке качества, который основан на использовании информационных критериев. В соответствии с этими критериями введено понятие дезинформации для управляющего воздействий. Качество управляющего воздействия предложено оценивать как отношение количества дезинформации, вносимой управляющим устройством, к максимально возможному.

При современных тенденциях возрастания роли управления во всех отраслях народного хозяйства возникает задача поиска новых подходов к оценке качества как измерений, так и управляющих воздействий.

Одним из таких новых подходов является использование концепции неопределенности, которая все шире применяется для оценки качества измерений и носит название Uncertainty Approach (UA). Очевидно, что не менее эффективным было бы использование концепции неопределенности для оценки погрешности управляющих воздействий, особенно с учетом того, что проектирование и эксплуатация автоматизированных систем управления происходят в условиях неопределенности, вызванной неполнотой знаний о протекающих в системе процессах, ненадежности технических и программных средств и т.д.

Выработка управляющих воздействий осуществляется управляющим устройством на основе информации о состоянии объекта управления и(или) о внешних возмущениях, действующих на этот объект. Рассмотрим типовую структурную схему процесса управления (рис. 1).

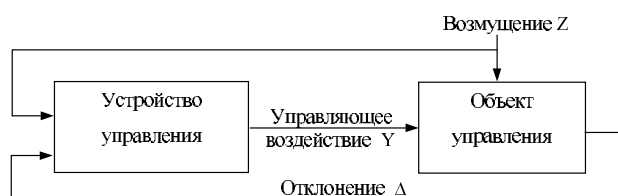


Рис. 1. Типовая структурная схема процесса управления

Устройство управления вырабатывает управляющее воздействие  $Y$  на основе входной информации, в качестве которой выступают либо данные об отклонении  $\Delta$  параметра состояния объекта управления от заданного значения, либо данные о возмущении  $Z$ , действующем на объект. Для

обобщения обозначим вход устройства управления как  $X$ . Таким образом, устройство управления выполняет функциональное преобразование  $Y=f(X)$ .

В настоящее время для оценки качества управления используется множество критериев, характеризующих управляющую систему с разных сторон и часто противоречащих друг другу. Например, ГОСТ 23222-88 устанавливает, что для оценки точности выполнения предписанной функции средств автоматизации следует определить перерегулирование, колебательность, продолжительность переходного процесса, время установления, время достижения первого максимума, запас устойчивости, быстродействие и частоту собственных колебаний системы автоматического управления. В то же время качество измерительного устройства можно охарактеризовать единственным параметром — погрешностью измерений в случае классического подхода или неопределенностью при использовании UA.

Качество управления может быть потеряно как вследствие неполноты входной информации, так и из-за несовершенства управляющего устройства. В первом случае следует учитывать неопределенность измерений параметров объекта и(или) внешних факторов, во втором — неопределенность управляющих воздействий.

В соответствии с работой [1] для оценки неопределенности используют стандартную неопределенность (по типу А или по типу В), суммарную стандартную неопределенность, расширенную неопределенность.

Стандартная неопределенность по типу А — неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения. При вычислении исходными данными для вычисления являются результаты многократных измерений.

Стандартная неопределенности по типу В определяется на основе научного суждения, использующего всю доступную информацию об измеряемой величине, например:

- а) данные предшествовавших измерений, входящих в уравнение измерения; сведения о виде распределения вероятностей;
- б) данные, основанные на опыте исследователя или общих знаниях о поведении и свойствах ответствующих приборов и материалов;
- в) неопределенности констант и справочных данных;
- г) данные поверки, калибровки, сведения изготовителя о приборе.

Расширенная неопределенность — величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Процедура расчета неопределенности, описанная в работе [1], отличается, с одной стороны, громоздкостью, с другой стороны, оставляет определенный произвол в выборе коэффициента охвата при расчете расширенной неопределенности.

По нашему мнению, существующая методика оценки неопределенности имеет также следующие недостатки:

- а) дает оценку “сверху”, т.е. занижает оценку точности;
- б) не учитывает особенности реального закона распределения измеряемой величины.

Для обоснования последнего утверждения вспомним, что случайная величина полностью описывается законом распределения. Оценивание неопределенности по методике [1] основывается на расчете дисперсии, которая, как известно, является всего лишь одним из параметров распределения — вторым моментом случайной величины. И если, например, третий момент существенно отличен от нуля, то дисперсия уже не может однозначно характеризовать закон распределения.

Для количественной оценки неопределенности нам представляется естественным использовать информационные критерии, поскольку информацию обычно рассматривают как меру уменьшения неопределенности знаний о каком-либо объекте в процессе его познания. Если  $H_1$  — начальная (априорная) неопределенность знаний по тому или иному вопросу, а  $H_2$  — остаточная (апостериорная) неопределенность, характеризующая состояние знаний после получения информации, то количество полученной информации определяется разностью:

$$I = H_1 - H_2. \quad (1)$$

Априорная неопределенность оценивается в теории информации энтропией Шеннона [2]:

$$H = -\sum_j p(x_j) \log p(x_j). \quad (2)$$

Для оценки апостериорной неопределенности классическая теория информации предлагает использовать условную энтропию, расчет которой требует получения условных и совместных вероятностей и выполнения громоздких расчетов. С другой стороны, концепция неопределенности расширяет понятие вероятности и вводит в рассмотрение, наряду с объективной, еще и субъективную вероятность [3]. Поэтому целесообразным считаем использование неопределенности Бонгарда [4]. По Бонгарду неопределенность задачи с распределением вероятностей ответа  $P = \{p_j\}$  для наблюдателя, исходящего из гипотезы, что имеет место распределение  $Q = \{q_j\}$ , оценивается следующим выражением:

$$N(p/q) = -\sum_j p_j \log q_j. \quad (3)$$

Неопределенность Бонгарда минимальна, когда распределения  $P$  и  $Q$  совпадают:

$$\min_{\{Q\}} N(p/q) = -\sum_j p_j \log p_j. \quad (4)$$

Иначе говоря, энтропия (1) является частным случаем неопределенности (3) при  $P=Q$ .

Всякое сообщение, изменяющее значение неопределенности от  $N_1(p/q)$  до  $N_2(p/q)$ , несет количество полезной информации Бонгарда, равное

$$I_n = N_1(p/q) - N_2(p/q). \quad (5)$$

Эта величина может быть как положительной, так и отрицательной. В последнем случае говорят о дезинформации, вносимой сообщением.

Пусть  $P = \{p(x_j)\}$  — распределение вероятностей величины  $X$ , а  $Q = \{q(y_j)\}$  — распределение вероятностей величины  $Y$ . В случае идеальной работы управляющего устройства эти распределения совпадают. Неопределенность по Бонгарду такой ситуации:

$$N(p/p) = -\sum_j p(x_j) \log p(x_j). \quad (6)$$

В реальном управляющем устройстве происходит искажение входной информации, т.е. устройство вносит дезинформацию в количестве:

$$D = N(p/q) - N(p/p) = \sum_j p(x_j) \log \frac{p(x_j)}{q(y_j)}. \quad (7)$$

Величина  $D$  характеризует качество управляющего устройства. Она равна нулю в случае идеального управления и возрастает при снижении качества управления. Это можно интерпретировать следующим образом: если переходной процесс в системе управления точно повторяет изменение

задания, система работает идеально. Чем больше переходной процесс (линия 2 на рис. 2) отклоняется от задания (линия 1), тем больше вносимая управляющим устройством дезинформация.

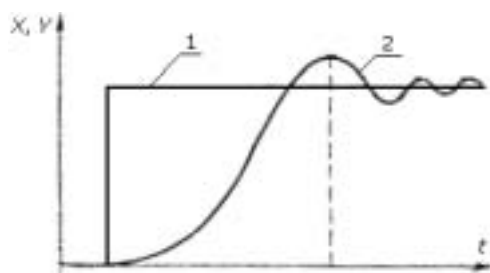


Рис. 2. График входного воздействия (линия 1) и реакции системы управления на это воздействие (линия 2)

В качестве оценки неопределенности управляющего воздействия следует использовать отношение количества дезинформации, вносимой управляющим устройством, к максимально возможному, которое будет иметь место при  $N_1(p/q)=0$ :

$$\eta = \frac{D}{D_{\max}} = \frac{\sum_j p(x_j) \log \frac{p(x_j)}{q(y_j)}}{-\sum_j p(x_j) \log q(y_j)} = 1 - \sum_j \frac{\log p(x_j)}{\log q(y_j)}. \quad (8)$$

Величина  $\eta$  равна нулю, когда распределения  $P=\{p_j\}$  и  $Q=\{q_j\}$  полностью совпадают, и стремится к 1, когда они полностью противоположны.

Оценка неопределенности управляющих воздействий с помощью формулы (8) обладает следующими преимуществами:

- 1) дает обобщенную оценку качества управления одним единственным критерием;
- 2) полностью учитывает законы распределения входных и выходных сигналов;
- 3) дает более точную оценку неопределенности по сравнению с дисперсионной оценкой;
- 4) не требует сложных математических вычислений;
- 5) применима для многомерных систем, поскольку в силу аддитивных свойств информации общая дезинформация системы равна сумме дезинформаций, вносимых отдельными параметрами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РМГ 43-2001. Применение руководства по выражению неопределенности измерений. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 19 с.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетика. — М.: Иностранная литература, 1963. — 829 с.
3. Колбасин А.И. Новая парадигма метрологии // Системи обробки інформації. — Харків: Харківський ун-т повітряних сил. — 2006. — Вип.7(56). — С.37-39.
4. Бонгард М.М. Проблемы узнавания. — М.: Наука, 1967. — 320 с.

Поступила в редакцию 29.11.2007